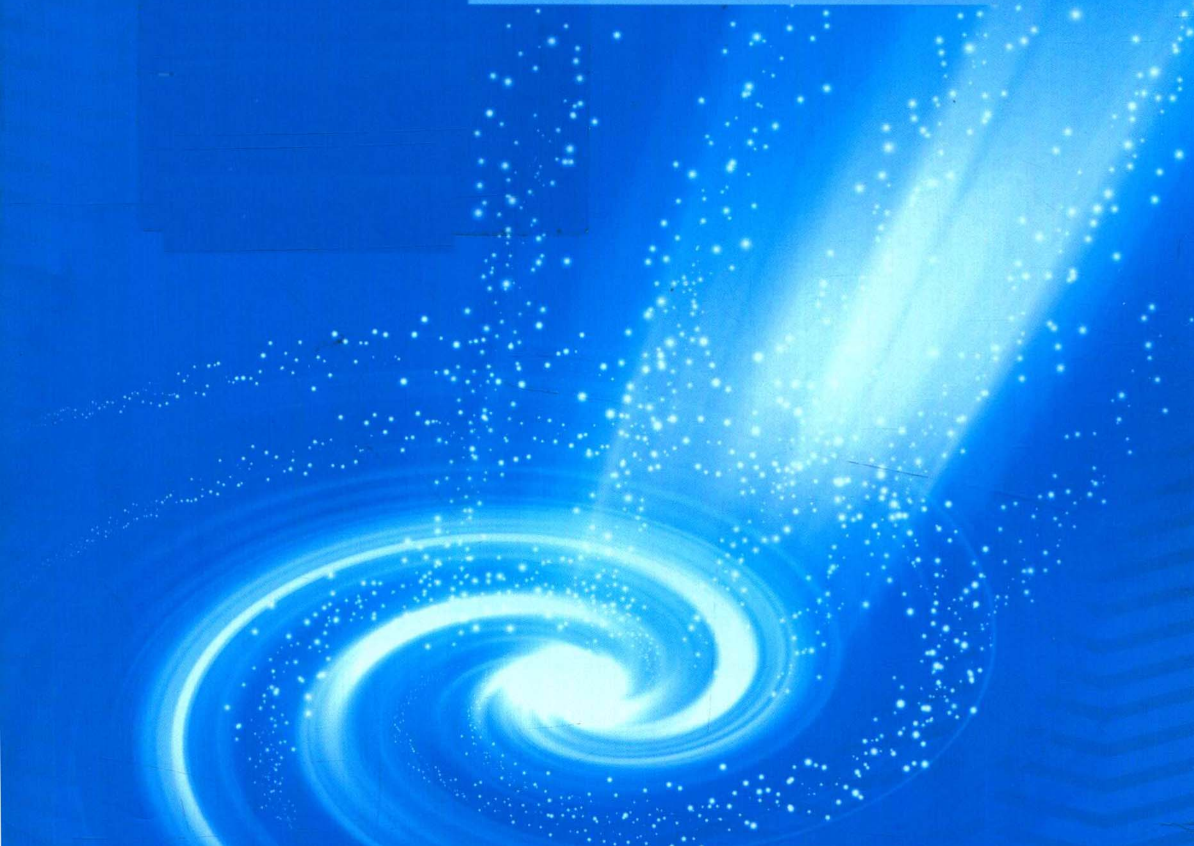
普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅



大学物理学习指导

（第二版）

余 虹 主编

科学出版社

普通高等教育“十一五”国家级规划教材配套教辅

大学物理学习指导

（第二版）

主　编　余　虹
副主编　李雪春　刘升光　姜东光

科学出版社
北京

内 容 简 介

本书是与余虹教授主编的《大学物理学》配套的学习辅导书. 书中结合教材内容,通过要点提示、问题讨论和习题解答启发读者思维,引导学生提出问题,提高学生分析问题、解决问题的能力. 为加强练习,还设置了模拟试题供学生自我检测. 本书还在解题中注重提供多种思路、多种解法,以使读者能更好地领会和掌握教材的相关知识.

本书可作为高等学校工科各专业学习大学物理课程的参考书,也可供自学者使用.

图书在版编目(CIP)数据

大学物理学习指导/余虹主编. —2 版. —北京:科学出版社,2018.1
普通高等教育"十一五"国家级规划教材配套教辅
ISBN 978-7-03-054591-6

Ⅰ.①大… Ⅱ.①余… Ⅲ.①物理学-高等学校-教学参考资料 Ⅳ.①O4

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2017)第 236597 号

责任编辑:昌 盛 罗 吉 / 责任校对:张凤琴
责任印制:霍 兵 / 封面设计:华路天然工作室

科 学 出 版 社出版
北京东黄城根北街 16 号
邮政编码:100717
http://www.sciencep.com
三河市书文印刷有限公司 印刷
科学出版社发行 各地新华书店经销
*
2002 年 2 月第 一 版 开本:720×1000 1/16
2018 年 1 月第 二 版 印张:19 1/2
2018 年 1 月第五次印刷 字数:393 000

定价: 49.00 元

(如有印装质量问题,我社负责调换)

第二版前言

本书是与余虹教授主编的普通高等教育“十一五”国家级规划教材《大学物理学》配套的学习指导书. 十几年来主教材多次修订，而辅导书久未更新. 如今为了配合主教材第四版，特做了修订.

首先，内容上配合主教材做了章节的调整. 主教材曾在第二版增加了几何光学一节，并对热力学章节进行调整. 因此，本书的章节要点、问题讨论都有相应的变化. 其次，对主教材中新增加的习题，本次修订一一作解. 有些解得不甚好的地方，重新作解并更新了大部分插图. 最后，提供了近年来大连理工大学的考题作为模拟试题，可供完成复习的同学作最后参考. 但是，请同学们千万不要以“刷题”的态度对待模拟试卷. 因为，物理题是“刷”不完的，只有真正懂得了物理学的基本原理，才能以不变应万变.

本次修订由刘升光协助解题检验、文字插图参谋，李雪春提供两套模拟试卷，这两位副主编还参与了文字校对工作.

天气炎热，时间仓促，本书是利用暑假完成的，若发现有误或有更好的解题方法，敬请联系作者，给予批评指正.

编　者
2017 年 8 月

第一版前言

物理学在19世纪、20世纪取得了举世瞩目的辉煌成就.21世纪,它仍将是一门充满生机的科学.过去、现在和将来它都是许多高新技术发展的基础.学好物理学已成为21世纪高素质的工程研究人员和工程技术人员的基本要求,因此理工科大学生在校学习期间面临着学习物理学的挑战.

根据几十年从教的经验,我们认为理工科大学的学生学习物理,首先要掌握物理学的基本概念、基本规律,学会科学地思维、有效地建立物理图像,学会提出问题、分析问题、解决问题.因此,作者曾根据教育部对大学物理课程的基本要求,结合在长期物理教学中积累的经验和教学改革的体会,编写了《大学物理学》.本书是与《大学物理学》配套的辅助教材,对《大学物理学》各章作了要点提示,为书后的习题作了详细解答,并就教学中经常出现的问题和容易混淆思路的地方进行了讨论.对训练学生的发散思维和创新意识有积极的引导作用.

本书的作者都是长期工作在教学第一线的教师,具有丰富的教学经验.其中第1章由张殿凤完成;第2、3章由梁秀萍、张殿凤完成;第4、6、11～14章由余虹、张殿凤完成;第5章由李淑凤、王文春完成;第7章由牟宗信、王雪莹合作完成;第8～10章的作者是李雪春、李淑凤和姜东光;第15、17章的作者是王文春和姜东光;第16章的作者是郑殊和李雪春;第18～21章由姜东光、余虹完成;模拟试题由李雪春、姜东光完成.

本书是在校大学生学习物理的良师益友,也可供大学物理教师备课参考,或供中学教师进修学习使用.由于水平有限、时间仓促,书中可能有误,敬请各位读者批评指正.

编　者

2001年10月

目　录

第 1 章　质点运动学

【本章要点】

一、基本概念

1. 位置矢量、位移、路程

质点作机械运动时，为了确定质点在空间的位置，需要引入位置矢量，在直角坐标系中位置矢量和坐标的关系是

$$\boldsymbol{r} = x\boldsymbol{i} + y\boldsymbol{j} + z\boldsymbol{k}$$

质点运动时，其位置随时间变化，位矢是时间的函数，即

$$\boldsymbol{r}(t) = x(t)\boldsymbol{i} + y(t)\boldsymbol{j} + z(t)\boldsymbol{k}$$

上式叫做质点的运动函数.

质点在 t_1 时刻的位矢为 $\boldsymbol{r}_1$，t_2 时刻的位矢为 $\boldsymbol{r}_2$，在 $t_2 - t_1$ 这段时间内质点的位移为

$$\Delta\boldsymbol{r} = \boldsymbol{r}_2 - \boldsymbol{r}_1 = \Delta x\boldsymbol{i} + \Delta y\boldsymbol{j} + \Delta z\boldsymbol{k}$$

位移和路程是不同的两个概念.

2. 速度

为了描写质点运动的快慢程度，需要引进速度矢量，即

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t} = \frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i} + \frac{\mathrm{d}y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j} + \frac{\mathrm{d}z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

速度的大小叫速率，速率 $v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$，它是路程对时间的导数. 速度亦可作如下表示：

$$\boldsymbol{v} = \frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}$$

$\boldsymbol{\tau}$ 表示质点运动轨迹上切线方向的单位矢量，用它来表示速度的方向.

3. 加速度

为了描写速度变化的快慢程度，需要引进加速度. 其定义式为

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{v}}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}v_x}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{i}+\frac{\mathrm{d}v_y}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{j}+\frac{\mathrm{d}v_z}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{k}$$

在自然坐标系中,加速度可分解为切向加速度和法向加速度,即

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_\tau+\boldsymbol{a}_n$$

切向加速度 $\boldsymbol{a}_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}\boldsymbol{\tau}$,它是与速率随时间变化有关,而法向加速度 $\boldsymbol{a}_n=\frac{v^2}{\rho}\boldsymbol{n}$, ρ 为轨迹曲线在该处的曲率半径,$\boldsymbol{n}$ 表示该处指向曲率中心的单位矢量. 它与速度的方向发生变化有关.

质点作圆周运动时,可引进角速度 ω,它表示质点在单位时间内转过的角度,速率和角速度的关系为

$$v=R\omega$$

R 为圆轨道的半径,此时质点的切向加速度 $a_\tau=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}$,而法向加速度 $a_n=\frac{v^2}{R}=R\omega^2$,也叫向心加速度.

二、相对运动

当直角坐标系 K'相对直角坐标系 K 平动时,在 K 系和 K'系中所描写的运动质点的位矢、速度、加速度有以下关系:

$$\boldsymbol{r}(t)=\boldsymbol{R}(t)+\boldsymbol{r}'(t)$$
$$\boldsymbol{v}=\boldsymbol{v}_0+\boldsymbol{v}'$$
$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_0+\boldsymbol{a}'$$

$\boldsymbol{R}'(t)$表示 t 时刻 K'系坐标原点 O'对 K 系的位矢,$\boldsymbol{v}_0$、$\boldsymbol{a}_0$ 表示 O'相对于 K 系的速度和加速度,也叫牵连速度和牵连加速度.

【问题讨论】

问题 1　(1) 位移和路程有何区别?(2) 瞬时速度和瞬时速率有何区别?(3)瞬时速度和平均速度的区别和联系是什么?(4)有人说:“平均速率等于平均速度的模”,又有人说:$\left|\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|=\frac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$,试论述两种说法是否正确?

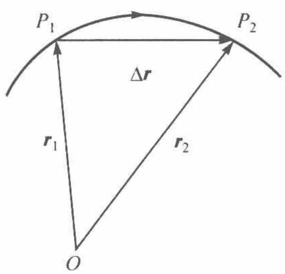


图 1.1

讨论　(1) 如图 1.1 所示,质点从 P_1 运动到 P_2 时,路程为弧长$\widehat{P_1P_2}$,位移 $\Delta\boldsymbol{r}=\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1$,两者显然不同. 位移是一个矢量,路程是一个标量. 只有当质点作匀速直线运动时,位移的大小才等于路程.

（2）瞬时速度表示质点在“某时刻”的速度，它是一个矢量，既有大小又有方向，它的表达式为 $\boldsymbol{v}=\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$. 瞬时速率表示该时刻速度的大小，它是一个标量，它的表达式为 $v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$，$s$ 代表路程.

（3）平均速度的定式为

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\frac{\boldsymbol{r}_2-\boldsymbol{r}_1}{t_2-t_1}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}$$

它表示位移 $\Delta\boldsymbol{r}$ 在 Δt 时间内的平均变化率. 它只能粗略地反映运动的快慢程度和运动方向. 而瞬时速度能精确描写质点运动的快慢以及运动的方向. 瞬时速度是平均速度的极限，即

$$\bar{\boldsymbol{v}}=\lim_{\Delta t\to 0}\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}$$

（4）上述两种说法皆不正确. 平均速率 $v=\dfrac{\Delta s}{\Delta t}$，它表示路程与时间的比值，即平均来看，单位时间内质点走了多少路程. 而平均速度的模为 $\left|\dfrac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}\right|$，它是位移的大小与时间的比值，即平均来看，单位时间内位移的大小. 位移和路程是两个概念，故平均速率不等于平均速度的模.

$\left|\dfrac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}\right|=v=\dfrac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}$，它表示速率. 而 $\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$ 只表示径向速率，它是速度 $\boldsymbol{v}$ 的一个径向分量，一般情况下两者不相等.

图 1.2 中 C 代表质点的运动轨迹，径向速率 $v_r=\dfrac{\mathrm{d}r}{\mathrm{d}t}$，与径向垂直的方向称为横向，横向速率为 v_θ，速率 v 和 v_r，v_θ 的关系是

$$v^2=v_r^2+v_\theta^2$$

问题 2　行星轨道为椭圆，已知任一时刻行星的加速度方向都指向椭圆的一个焦点（太阳所在处）. 分析行星在通过图 1.3 中 M、N 两位置时，它的速率分别是正在增大还是正在减小?

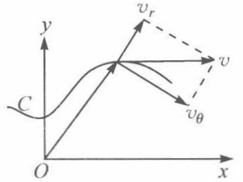


图 1.2

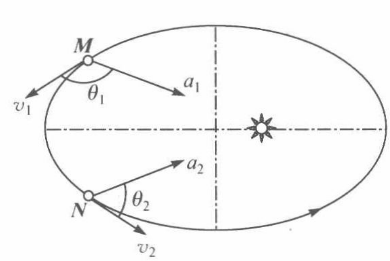


图 1.3

讨论　在 M 点加速度 $\boldsymbol{a}_1$ 的方向与速度 $\boldsymbol{v}_1$ 之间的夹角 $\theta_1>\pi/2$,说明 M 处切向加速度 $a_t<0$(即 $\boldsymbol{a}_t$ 与 $\boldsymbol{v}_1$ 方向相反),速度正在减小.

在 N 点加速度 $\boldsymbol{a}_2$ 与速度 $\boldsymbol{v}_2$ 之间夹角 $\theta_2<\pi/2$,说明切向加速度 $a_t>0$,所以行星通过 N 点的速率正在增大.

【习题解答】

1.1　在水平面上作任意曲线运动的质点,当经过 A 点时,速度为向东 12cm/s,经过 4s 到达 B 点,B 点位于 A 点之东 24cm,北 32cm 处,此时速度为向北 16cm/s,求质点在这 4s 内的平均速度和平均加速度.

解　按题意画出图 1.4 的示意图,取点 A 为坐标原点,东为 x 轴正向,北为 y 轴方向,零时刻质点在 $A(0,0)$处,速度分量 $v_{Ax}=12\text{cm/s}$,$v_{Ay}=0$;4s 时质点在 $B(24,32)$处,速度分量为 $v_{Bx}=0$,$v_{By}=16\text{cm/s}$.

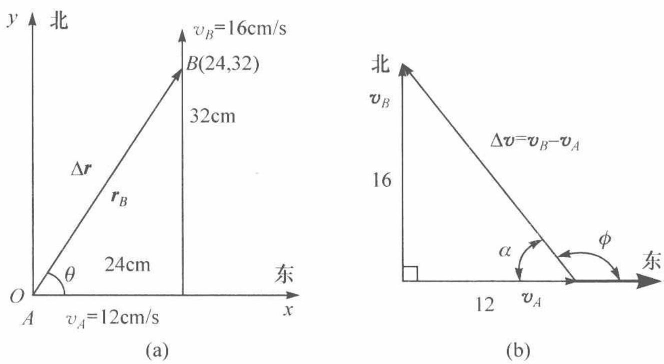


图 1.4

根据位移的定义 $\Delta\boldsymbol{r}=\overrightarrow{AB}$,即

$$\Delta\boldsymbol{r}=24\boldsymbol{i}+32\boldsymbol{j}$$

平均速度

$$\boldsymbol{v}=\frac{\Delta\boldsymbol{r}}{\Delta t}=\frac{24}{4}\boldsymbol{i}+\frac{32}{4}\boldsymbol{j}=6\boldsymbol{i}+8\boldsymbol{j}$$

速度的大小

$$v=\sqrt{6^2+8^2}=0.1(\text{m/s})\qquad \text{方向:}53°8'\ \text{东偏北}$$

平均加速度

$$\boldsymbol{a}=\frac{\Delta v_x}{\Delta t}\boldsymbol{i}+\frac{\Delta v_y}{\Delta t}\boldsymbol{j}=-\frac{12}{4}\boldsymbol{i}+\frac{16}{4}\boldsymbol{j}=-3\boldsymbol{i}+4\boldsymbol{j}$$

加速度的大小

$$a=\sqrt{3^2+4^2}=0.05(\text{m/s}^2)\qquad \text{方向:}53°8'\text{西偏北}$$

1.2　一质点在 xOy 平面内运动，沿两坐标轴的速度分别为 $v_x=(4t^3+4t)$，$v_y=4t$，已知当 $t=0$ 时，位置坐标为(1,2). 求质点的轨迹方程.

解　已知质点运动的速度分量 v_x 和 v_y，则

$$\mathrm{d}x = v_x\mathrm{d}t = (4t^3+4t)\mathrm{d}t,\quad \mathrm{d}y = v_y\mathrm{d}t = 4t\mathrm{d}t$$

$$x = \int(4t^3+4t)\mathrm{d}t = t^4+2t^2+c_1 \tag{1}$$

$$y = \int 4t\mathrm{d}t = 2t^2+c_2 \tag{2}$$

把边界条件 $t=0$ 时位置(1,2)代入式(1)和式(2)，得

$$c_1=1,\quad c_2=2$$

所以质点运动方程为

$$x=t^4+2t^2+1=(t^2+1)^2 \tag{3}$$

$$y=2t^2+2=2(t^2+1) \tag{4}$$

合并式(3)和(4)，消去 t，即得质点轨迹方程

$$x=\frac{y^2}{4}$$

1.3　在离水面高度为 h 的岸边上，有人以 v_0 的速度收绳拉船靠岸，如图 1.5 所示，求船被拉到离岸边 x 处的速率和加速度的大小.

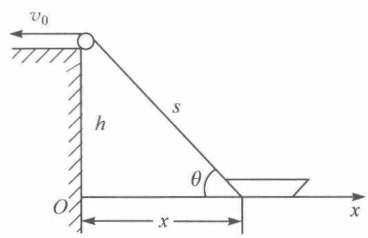


图 1.5

解　由题意知

$$v_0=-\mathrm{d}s/\mathrm{d}t,\quad x=\sqrt{s^2-h^2}$$

所以船的速率

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\sqrt{s^2-h^2}=\frac{s}{\sqrt{s^2-h^2}}\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=-\frac{\sqrt{h^2+x^2}}{x}v_0$$

船的加速度

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{\mathrm{d}}{\mathrm{d}t}\left(-\frac{\sqrt{h^2+x^2}}{x}v_0\right)=-\frac{h^2v_0^2}{x^3}$$

1.4　一质点沿半径为 R 的圆周按规律 $s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2$ 运动，v_0，b 都是恒量，求：

(1) t 时刻质点的加速度矢量；

(2) t 为何值加速度在数值上等于 b？

(3) 当加速度为 b 时质点已沿圆周运动了多少圈？

解　(1)

$$s=v_0t-\frac{1}{2}bt^2,\quad v=\frac{\mathrm{d}s}{\mathrm{d}t}=v_0-bt$$

$$a_t=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=-b,\quad a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{(v_0-bt)^2}{R}$$

$$\boldsymbol{a}=\boldsymbol{a}_n+\boldsymbol{a}_t=\frac{(v_0-bt)^2}{R}\boldsymbol{n}-b\boldsymbol{t}$$

$\boldsymbol{n}$ 为沿径向指向圆心的单位矢量,$\boldsymbol{t}$ 为切向正向的单位矢量.

(2) 当 $a_n=0$,即 $v_0-bt=0$, $t=v_0/b$ 时,$|\boldsymbol{a}|=b$.

(3) $t=v_0/b$ 时,$s=v_0\,\frac{v_0}{b}-\frac{1}{2}b\,\frac{v_0^2}{b^2}=\frac{v_0^2}{2b}$,则转过圈数为

$$N=\frac{s}{2\pi R}=\frac{v_0^2}{4\pi Rb}$$

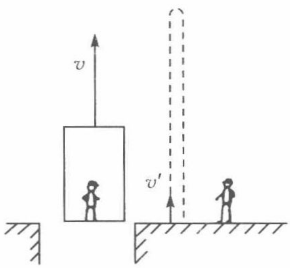


图 1.6

1.5 如图 1.6 所示,已知升降机以恒定的速度 v 上升,当升降机底面通过地平线时,地面上一弹射器以初速 v'向上弹出一小球,地面上一人和升降机内一人同时观察小球的运动. 问:

(1) 二人看到小球达到最高点的时刻是否相同?

(2) 二人看到小球达到最高点的高度是否相同? 以 $v=4.9\text{m/s}$, $v'=9.8\text{m/s}$, $g=9.8\text{m/s}^2$ 作定量计算.

解 选向上为正向,升降机上升速度 $v=4.9\text{m/s}$,小球上升初速 $v'=9.8\text{m/s}$. 地面人看到小球速度为零时的高度即最大高度. 令 $v'-gt_1=0$, $t_1=v'/g=1\text{s}$, 此时小球离地面的高度为

$$h_1=v't_1=\frac{gt_1^2}{2}=9.8\times1-\frac{9.8\times1^2}{2}=4.9(\text{m})$$

升降机人看到小球的初速为 $v'-v=4.9\text{m/s}$,他看到小球速度为零的时刻为

$$(v'-v)-gt_2=0,\quad t_2=\frac{v'-v}{g}=\frac{4.9}{9.8}=0.5(\text{s})$$

此时小球离地面的高度为

$$h_2=v't_2-\frac{1}{2}gt_2^2=9.8\times0.5-\frac{1}{2}\times9.8\times(0.5)^2\approx3.68(\text{m})$$

1.6 设轮船以 $v_1=18\text{km/h}$ 的航速向正北航行时,测得风是西北风(即风从西北吹向东南),当轮船以 $v_2=36\text{km/h}$ 的航速改向正东航行时,测得风是正北风(即风从北吹向南). 问地面上测得风速 $\boldsymbol{v}$ 如何?

解 根据速度合成定理

$$\boldsymbol{v}_{风-地}=\boldsymbol{v}_{风-船}+\boldsymbol{v}_{船-地}$$

单独用第一组条件,因风对船的速度的大小不知,不能求出 $\boldsymbol{v}_{风-船}$,如图 1.7(a)所示. 同理,单独用第二组条件,亦不能求出 $\boldsymbol{v}_{风-地}$,如图 1.7(b)所示. 如将(a)和(b)两图合并为图(c),根据几何关系可知

$$v'_{风-船}=18\text{km/h},\quad v'_{船-地}=36\text{km/h}$$

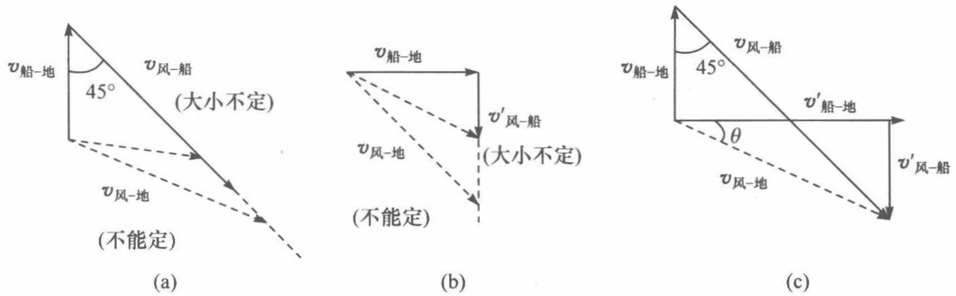


图 1.7

所以

$$v'_{风-地}=\sqrt{v'^2_{风-船}+v'^2_{船-地}}=\sqrt{18^2+36^2}=18\sqrt{5}=40.25(\text{km/h})$$

风向

$$\theta=\arctan\frac{18}{36}=26°34'(\text{东偏南})$$

1.7　一枚在星际空间飞行的火箭，当它的燃料以恒定速率燃烧时，其运动函数可表示为 $x=ut+u(\frac{1}{b}-t)\ln(1-bt)$，其中常量 u 是喷出气流相对火箭体的速度，b 是与燃烧速率成正比的一个常量.

（1）求此火箭的速度表示式；

（2）求此火箭的加速度表示式；

（3）设 $u=3.0\times10^3\text{m/s}$，$b=7.5\times10^{-3}\text{s}^{-1}$，并设燃料在 120s 内燃烧完，求 $t=0\text{s}$ 和 $t=120\text{s}$ 时的速度；

（4）求 $t=0\text{s}$ 和 $t=120\text{s}$ 时的加速度.

解　（1）

$$v=\frac{\mathrm{d}x}{\mathrm{d}t}=-u\ln(1-bt)$$

（2）

$$a=\frac{\mathrm{d}v}{\mathrm{d}t}=\frac{ub}{1-bt}$$

（3）

$$t=0\text{s},\ v=0$$

$$t=120\text{s},\ v=-3\times10^3\ln(1-7.5\times10^{-3}\times120)$$
$$=6.91\times10^3(\text{m/s})$$

（4）

$$t=0\text{s},\ a=\frac{3\times10^3\times7.5\times10^{-3}}{1}=22.5(\text{m/s}^2)$$

$$t=120\text{s},\ a=\frac{3\times10^3\times7.5\times10^{-3}}{1-7.5\times10^{-3}\times120}=225(\text{m/s}^2)$$

1.8 一质点在 xOy 平面上运动,运动函数为 $x=2t$, $y=4t^2-8$(SI).

(1) 求质点运动的轨道方程并画出轨道曲线;

(2) 求 $t_1=1\text{s}$ 和 $t_2=2\text{s}$ 时,质点的位置、速度和加速度.

解 (1) 在运动函数中消去 t 可得轨道方程为

$$y=x^2-8$$

轨道曲线为抛物线,如图 1.8 所示.

(2) 由 $\boldsymbol{r}=2t\boldsymbol{i}+(4t^2-8)\boldsymbol{j}$

$$\boldsymbol{v}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{r}}{\mathrm{d}t}=2\boldsymbol{i}+8t\boldsymbol{j}$$

$$\boldsymbol{a}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{u}}{\mathrm{d}t}=8\boldsymbol{j}$$

可得在 $t=1\text{s}$ 时

$$\boldsymbol{r}_1=2\boldsymbol{i}-4\boldsymbol{j},\quad \boldsymbol{v}_1=2\boldsymbol{i}+8\boldsymbol{j},\quad \boldsymbol{a}_1=8\boldsymbol{j}$$

在 $t=2\text{s}$ 时

$$\boldsymbol{r}_2=4\boldsymbol{i}+8\boldsymbol{j},\quad \boldsymbol{v}_2=2\boldsymbol{i}+16\boldsymbol{j},\quad \boldsymbol{a}_2=8\boldsymbol{j}$$

1.9 滑雪运动员离开水平滑雪道飞入空中时的速率 $v_0=110\text{km/h}$,着陆的斜坡与水平面夹角 $\theta=15°$(见图 1.9),问:

(1) 滑雪运动员着陆时沿斜坡的位移 L 是多大?(忽略起飞点到斜面的距离.)

(2) 在实际的跳跃中,滑雪运动员所达到的距离 $L=165\text{m}$,这个结果为什么与计算结果不符?

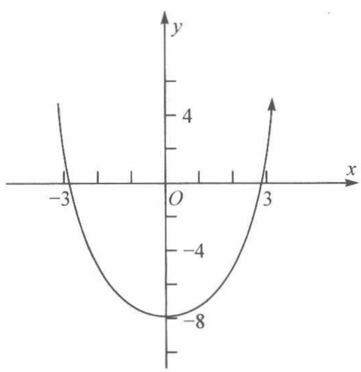


图 1.8

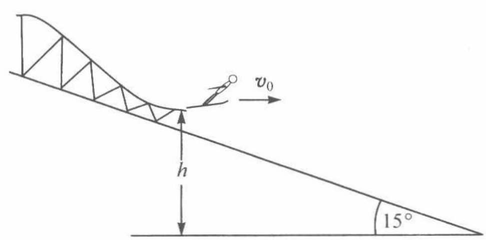


图 1.9

解 (1) 如图 1.9 选取坐标,运动员着陆点的坐标为

$$x=L\cos 15°=v_0t,\quad y=L\sin 15°=\frac{1}{2}gt^2$$

解方程，得

$$t=\frac{2v_0}{g}$$

而运动员沿斜坡的位移为

$$L=\frac{v_0t}{\cos15^\circ}=\frac{2v_0^2}{g\cos15^\circ}=197\text{m}$$

（2）实际 L 的数值小于上述计算值，是由于空气阻力对运动员的影响.

1.10　汽车在半径 $R=400$m 的圆弧弯道上减速行驶. 设在某一时刻，汽车的速率为 $v=10$m/s，切向加速度的大小为 $a_t=0.2\text{m/s}^2$. 求汽车的法向加速度和总加速度的大小和方向.

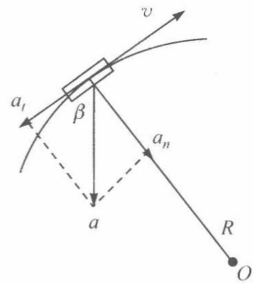


图 1.10

解　如图 1.10 所示，汽车的法向加速度为

$$a_n=\frac{v^2}{R}=\frac{10^2}{400}=0.25(\text{m/s}^2)$$

总加速度为

$$a=\sqrt{a_n^2+a_t^2}=\sqrt{0.25^2+0.2^2}=0.32(\text{m/s}^2)$$

总加速度与速度之间的夹角为

$$180^\circ-\beta=180^\circ-\arctan\frac{a_n}{a_t}=128^\circ40'$$

1.11　如图 1.11 所示一个半径 $R=1.0$m 的圆盘，可以绕一水平轴自由转动. 一根轻绳绕在盘的边缘，其自由端拴一物体 A. 在重力作用下，物体 A 从静止开始匀加速地下降，在 $\Delta t=2.0$s 内下降的距离 $h=0.4$m. 求物体开始下降后 3s 末，轮边缘上任一点的切向加速度与法向加速度.

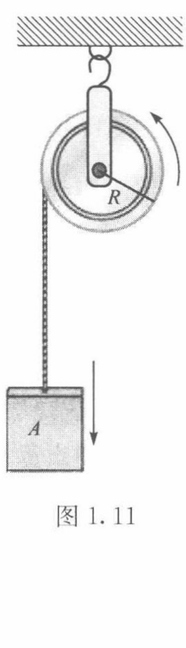


图 1.11

解　物体 A 下降的加速度为

$$a=\frac{2h}{t^2}=\frac{2\times0.4}{2^2}=0.2(\text{m/s}^2)$$

此加速度也等于轮缘上一点在 $t'=3$s 时的切向加速度，即

$$a'=0.2\text{m/s}^2$$

在 $t'=3$s 时的法向加速度为

$$a_n=\frac{v'^2}{R}=\frac{(a'_t)^2}{R}=\frac{(0.2\times3)^2}{1.0}=0.36(\text{m/s}^2)$$

第 2 章　质点和质点系动力学

【本章要点】

一、牛顿定律

1. 第一定律

它包含两个重要的概念.

惯性　质点保持原来速度不变的性质.

力　　力是质点受其他物体的作用. 力是改变速度的原因.

2. 第二定律

$$\boldsymbol{F}=\frac{\mathrm{d}\boldsymbol{P}}{\mathrm{d}t},\quad \boldsymbol{P}=m\boldsymbol{v}$$

(不考虑相对论效应) $\boldsymbol{F}=m\boldsymbol{a}$

$\boldsymbol{F}$ 是质点所受的合外力，$\boldsymbol{P}$ 为质点的动量，$\boldsymbol{a}$ 为质点的加速度，m 为质点的质量，$\boldsymbol{v}$ 为质点运动的速度.

3. 第三定律

$$\boldsymbol{F}_{12}=-\boldsymbol{F}_{21}$$

作用力与反作用力是作用在两个物体上的力.

二、惯性力

惯性力是非惯性系中不可忽略的力.

1. 平动加速参考系

$$\boldsymbol{F}_{惯}=-m\boldsymbol{a}$$

式中，$\boldsymbol{a}$ 为非惯性系相对某一确定惯性系的加速度，m 是研究对象的质量.

2. 匀角速转动的参考系

$$\boldsymbol{F}_{惯} = m\omega^2 \boldsymbol{r}$$

式中，ω 是参考系旋转的角速度，m、$\boldsymbol{r}$ 分别是研究对象的质量和位置矢量.

三、动量定理、动量守恒定律

1. 动量定理

合外力的冲量等于质点(或质点系)动量的增量.

$$\boldsymbol{F}\mathrm{d}t = \mathrm{d}\boldsymbol{P}$$

2. 动量守恒定律

质点系所受合外力为零时，则系统

$$\boldsymbol{P} = \sum_i \boldsymbol{P}_i = 常矢量$$

式中各速度相对同一惯性参考系而言.

四、质心运动定理

1. 质心的位置矢量

$$\boldsymbol{r}_c = \frac{\sum_{i=1}^{n} m_i \boldsymbol{r}_i}{M} \text{ 或 } \boldsymbol{r}_c = \frac{\int \boldsymbol{r}\mathrm{d}m}{M}$$

式中，m_i、$\boldsymbol{r}_i$ 为第 i 个质点的质量和该质点的位置矢量，M 为质点系的总质量.

2. 质心运动定理

质点系所受的合外力等于其总质量乘以质心的加速度.

$$\boldsymbol{F} = m\boldsymbol{a}_c$$

五、角动量定理与角动量守恒定律

1. 质点的角动量

对于某一定点

$$\boldsymbol{L} = \boldsymbol{r} \times \boldsymbol{P} = \boldsymbol{r} \times m\boldsymbol{v}$$